



防蝕工程學會

防蝕工程

期刊網址：<http://www.anticorr.org.tw>

防蝕工程



10.6376/JCCE.201803_32(1).0003

不鏽鋼還原渣製成環保水泥之膨脹性探討 Study on the Swelling Properties of Environmental Protection Cement Made of Stainless Steel slag

張榮南¹、王和源*²、曹哲豪²

Chang, Jung-Nan¹, Her-Yung Wang *², Zhe-Hao Cao²

中文摘要

節能減碳循環經濟及再生材料資源化利用已是世界的共同趨勢，本研究係以工業副產品之不鏽鋼還原渣為基材，取代部分水泥，以不同水灰比(0.4、0.5、0.6)、細度(3000cm²/g、4000cm²/g及5000cm²/g)及6種不同取代量(0%、10%、20%、30%、40%、50%)為主要試驗變數，探討於不鏽鋼還原渣製成環保水泥之膨脹性質及各齡期之工程性質。研究結果顯示，適當的使用不鏽鋼還原渣取代水泥，從而減少水泥地使用。由熱壓膨脹試驗可得知，不鏽鋼還原渣膨脹性質，於56天齡期時，在水灰比0.4，各細度之取代量為20%，熱壓膨脹變化量介於0.0398-0.0498%，皆符合CNS13619規範值在0.06%以下，顯示不鏽鋼還原渣在取代水泥20%時，不會有膨脹之疑慮，如適當使用，可有效達到資源再利用及節能減碳之目標。

關鍵詞：不鏽鋼還原渣；環保水泥；熱壓膨脹；資源再利用。

Abstract

This study used stainless steel slag as the base material of industrial by-products to replace some of the cement, with different water-cement ratios (0.4, 0.5, 0.6), fineness (3000cm²/g, 4000cm²/g, and 5000cm²/g) and 6 different types. The substitution amounts (0%, 10%, 20%, 30%, 40%, 50%) were the main test variables, and the swelling properties of the environmental protection cement made from stainless steel and the engineering properties at each age were investigated. The results of the study showed that the proper use of stainless steel to reduce concrete replaces cement, thereby reducing the use of cement. From the hot-expansion test, it can be seen

收到日期：2018年08月08日

修訂日期：2018年09月25日

接受日期：2018年10月13日

¹ 輔英科技大學 休閒與遊憩事業管理系

¹ Department of Tourism and Recreation Management, Fooyin University

² 國立高雄科技大學土木工程系

² Department of Civil Engineering, National Kaohsiung University of Science and Technology

*聯絡作者：wangho@nkust.edu.tw

that stainless steel reduces the swelling properties of the crucible. At 56 days of age, the water-cement ratio is 0.4, the amount of substitution for each fineness is 20%, and the change in hot-press expansion is 0.0398-0.0498%. All comply with the CNS13619 specification value of 0.06% or less. It showed that when stainless steel reduction is used to replace 20% of cement, there will be no doubt about expansion. If it is properly used, it can effectively achieve the goal of resource reuse and energy conservation and carbon reduction.

Keywords: Stainless steel slag; Protection cement; Hot pressure expansion; Resource recycling.

1. 前言

近年來永續發展的理念日漸重視，經濟發展需建立在保護地球自然生態體系與環境的基礎上，鋼鐵為社會經濟發展中不可取代之原料，鋼鐵工業可帶動下游工業之發展，因此有重工業之母之稱^[1]，以 2016 年粗鋼年產量約 2139 萬公噸爐煉鋼製程之還原渣佔約 40 萬公噸、煉鋼製程之轉爐石 150 萬公噸、煉鋼製程之水淬高爐石 400 萬公噸、煉鋼製程之脫硫渣 40 萬公噸^[2]，依據經濟部事業廢棄物再利用管理辦法中之說明，電弧爐煉鋼製程之還原渣可部分取代水泥、工程回填材料、鋪面工程基底層級配料、混凝土骨材等用途，水泥使用量隨著各種公共建設及國防設施的推動及建築物樓層不斷升高而增加^[3]。在全球水泥生產過程中，同時亦耗用近 2% 全球能源用量，約佔整體工業部門的 5%，生產 1 噸的水泥亦會產生 0.85 噸的二氧化碳，約有 60% 二氧化碳從石灰石煅燒階段排放^[4]，對環境造成相當大的衝擊。全球水泥製造業的二氧化碳排放量，佔全世界所有溫室氣體排放量約 5~7%。

目前國內煉鋼爐渣中，除了中鋼公司以鐵礦一貫煉鋼所產生之高爐石(水淬爐石)，在中鋼及中聯公司長期之研究及大力推廣，目前已達到資源化的目的，經過研磨處理後可添加於預拌混凝土中，可以取代 40% 水泥用量，並產生相當之經濟價值，已普遍應用於國內各大工程之水泥材料中^[5]。另外就水泥生產過程及排放污染來看，每噸爐石比水泥減少煤料 96 公斤、電力 40 千瓦及石

灰石 1.2 噸，其回收之效益包含減少碳排放量及節省能源等具有先進環保概念^[6]，在此強調綠色能源及減少碳排放量的能源政策中，是一個很好的資源再利用之方式。規範方面國家標準規範亦已有 CNS 3654 卜特嵐高爐水泥、CNS 11824 混凝土用高爐爐渣粗粒料、CNS 11827 道路用高爐爐渣、CNS 11890 混凝土用高爐爐渣細粒料、CNS 12223 水淬高爐爐渣及 CNS 12549 混凝土及水泥壩料用水淬高爐爐渣等之國家標準認可其適用性。「卜特嵐高爐水泥」亦通過環保標章的認證，在卜特嵐高爐水泥中高爐爐石熟料粉所佔之重量百分率應在 25% (含) 至 65% (含) 範圍之內為環保材料^[7]，對於高爐爐渣之資源化之用途更加寬泛。

其他煉鋼爐渣如脫硫渣、轉爐石及電弧爐渣等其他種類之爐渣亦有諸多學者已進行相當多的研究及試驗，希望在工業副產品能減量、重複使用、循環利用、回收利用的策略下，達到減廢再利用之目的^[8]。本研究擬以不鏽鋼還原渣製成環保水泥，並探討其膨脹性情形，其能在規範容許範圍內，充分運用還原渣。

2. 試驗計畫

因近年來環保意識高漲，各國朝著節能減碳與廢棄物永續利用目標邁進，而不鏽鋼還原渣的化學成分分析顯示，主要是以氧化鈣(CaO)、氧化矽(SiO₂)及少量的氧化鋁(Al₂O₃)所組成，經 TCLP 毒物溶出結果顯示符合試驗標準如表 1 所示，且

表 1 不銹鋼還原渣之 TCLP 毒物溶出結果。

Table 1 The applicable scope of different on-line corrosion monitoring methods.

金屬元素溶出量	砷	鋇	鎘	鉻	銅	汞	鉛	硒
LFS	N.D	0.160	N.D	0.122	N.D	N.D	N.D	N.D
溶出試驗標準	5.0	100	1.0	5.0	15	0.2	5.0	1.0

N.D(Not Detect)：表示低於試驗方法偵測值

粒徑小、比表面積高具有做為卜作嵐材料的潛力，有助於製造低耗能與低汙染之膠結材料。本研究以不同細度、水灰比及取代量探討配比參數的變化對不銹鋼還原渣水泥砂漿之(新拌、硬固、耐久)性質影響，其中更針對不銹鋼還原渣水泥砂漿之耐久性質進行試驗，評估耐腐蝕及膨脹行為。

2.1 試驗變數

本研究採用鋼鐵工業煉鋼過程中所伴隨的不銹鋼還原渣，利用不同細度(3000、4000、5000)cm²/g，不同水泥取代量(0%、10%、20%、30%、40%、50%)及不同水灰比(0.4、0.5、0.6)，進行還原渣水泥砂漿試驗，測定其耐久性(抗硫酸鹽、熱壓膨脹率)，探討影響還原渣水泥砂漿性質之影響因素。

2.2 試驗項目與方法

2.2.1 流度

依國家標準 CNS1011 規範之規定以四次測量所得之水泥砂漿底部直徑平均值與原來流度模子底內徑之差除以原來流度模子底內徑所得之百分比，即為該水泥砂漿之流度值。

2.2.2 抗壓強度

依國家標準 CNS1010 標準水泥砂漿抗壓強度所規定之配合比例製成方塊試體；依各齡期做抗壓強度試驗，以檢驗各種不同水泥砂漿抵抗壓力的性質。

2.2.3 抗硫酸鹽侵蝕

本試驗依國家標準 CNS1258 規範之規定，目的在求得水泥砂漿之重量損失，試驗方法為將依據 CNS1010 水硬性攪料抗壓強度所做成之立方試體，養護致 28 天再放入 100±5℃ 烘箱中進行烘乾 24 小時，再將試體放入飽和硫酸鈉水溶液中，連續五個循環量測其重量損失率。

2.2.4 熱壓膨脹

本試驗依國家標準 CNS1258 規範之規定，目的在求得水泥砂漿之膨脹係數，試驗所用之儀器為高壓蒸氣鍋及量測水泥砂漿長度變化的比較側長儀；高壓蒸氣鍋即高壓蒸氣爐裝有自動壓力控制器並設有安全閥，從開始加壓時起在 45~75 分鐘內鍋爐內之壓力會到達規範之指定壓力 20.8kgf/cm²，並維持至少三小時，蒸氣結束後將試體取出，於 15 分鐘內使水溫降至 23 度，保持試體及水在此溫度 15 分鐘，然後量其長度變化。

3. 實驗結果與討論

3.1 流度

圖 1 所示不銹鋼還原渣環保水泥取代量越多，漿體工作性就會越佳；而符合規範標準(20.5~21.5cm)之配比有；固定水灰比 0.5，細度 3000cm²/g。不銹鋼還原渣環保水泥取代量為 10% 及 20% 之流度分別為(20.5cm 及 20.9cm)，水灰比 0.5 細度 4000cm²/g 不銹鋼還原渣環保水泥取代量 10%、20% 之流度分別為(20.95、21.2cm)，水灰

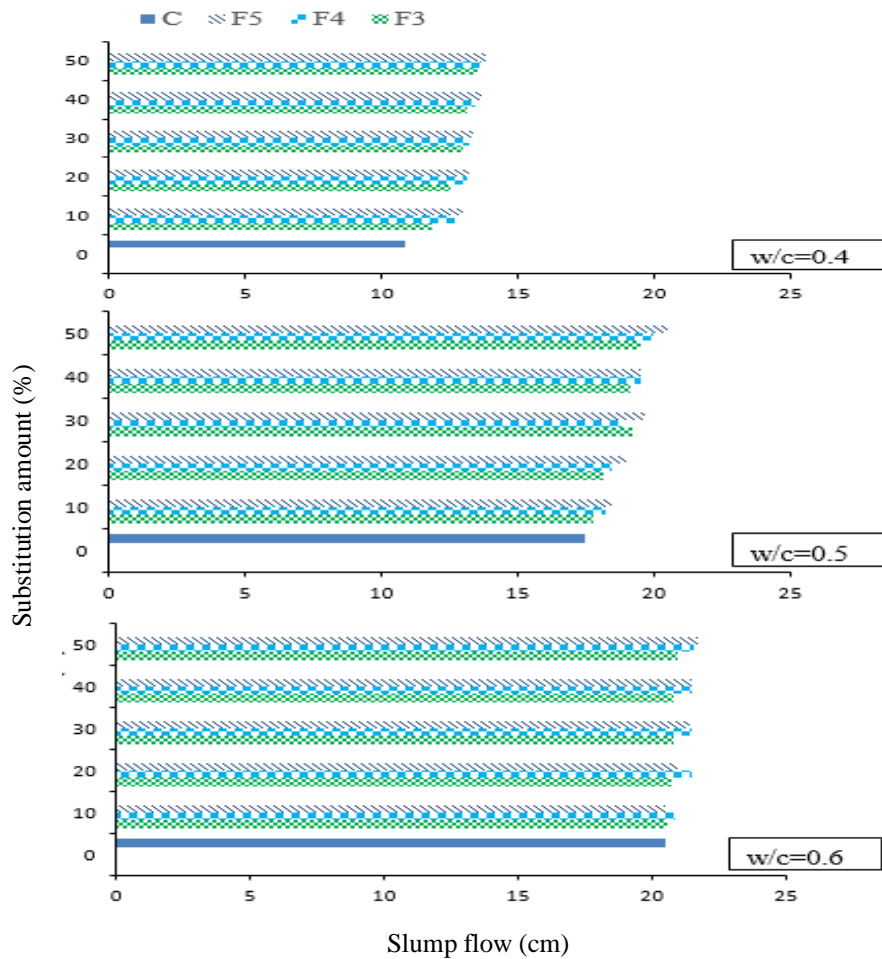


圖 1 不銹鋼還原矽環保水泥砂漿不同取代量、細度及水灰比之流度。

Figure 1 Reduction degree of different substitution amount, fineness and water-cement ratio of environmental protection cement mortar reduced by stainless steel.

比 0.5 細度 5000cm²/g 不銹鋼還原矽環保水泥取代量 10%之流度分別為 21.2 cm，但水灰比 0.6 配比之流度值均在 23.3cm 以上，即超過規範；相對於水灰比 0.4 時配比之流度值均在 16.5cm 以下，即低於規範值。由此不銹鋼還原矽環保水泥砂漿之流度會隨著不銹鋼還原矽環保水泥取代量及水灰比之增加而增加。在細度方面，不銹鋼還原矽環保水泥細度越高其也有助於漿體流動性。水灰比 0.5 及 0.6 時會因為用水量之增加而使漿體流度提高，因此水灰比對流度值之影響性比取代量及細度高。

3.2 抗壓強度

圖 2 所示當齡期 28 天時，不銹鋼還原矽細度 3000cm²/g，水灰比 0.4 提高至 0.5，抗壓強度降低 5.22%~22.49%；水灰比 0.5 提升至 0.6，抗壓強度則降低 5.92%~32.26%；不銹鋼還原矽細度 4000cm²/g，水灰比 0.4 提高至 0.5，抗壓強度降低 5.13%~30.68%；水灰比 0.5 提升至 0.6，抗壓強度則降低 12.79%~33.42%；不銹鋼還原矽細度 5000cm²/g，水灰比比 0.4 提高至 0.5，抗壓強度降低 5.59%~25.91%；水灰比 0.5 提升至 0.6，抗壓強度則降低 13.69%~32.13%。結果顯示水灰比的增加會使不銹鋼還原矽活性降低，且與水化作用所

析出的矽酸鈣水化物(Calcium silicate hydrate)鍵結反應不足，而使水化產物減少，造成抗壓強度發展有限。且水灰比提升，會使試體孔隙增加，造成抗壓強度降低。

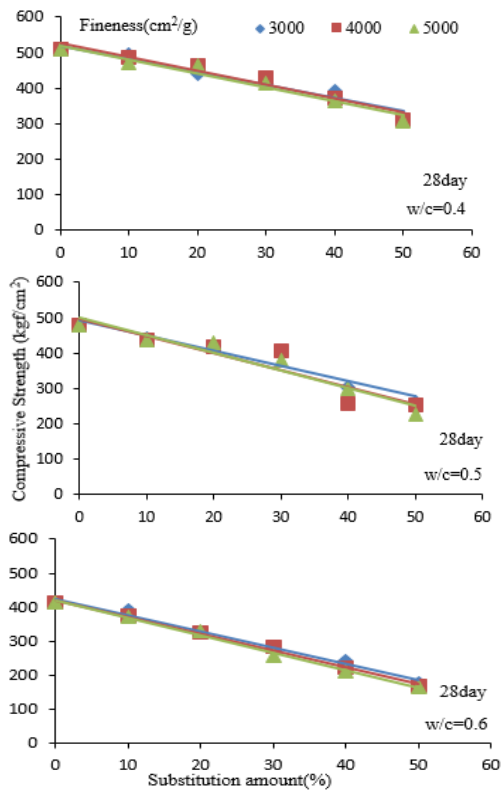


圖 2 不銹鋼還原矽環保水泥砂漿不同細度、取代量及水灰比之抗壓強度。
Figure 2 Stainless steel reduction, environmental protection cement mortar with different fineness, substitution amount and water-cement ratio 28 days compressive strength.

3.3 抗硫酸鹽侵蝕

圖 3 所示當不銹鋼還原矽環保水泥細度 (3000cm²/g、4000cm²/g 及 5000cm²/g)，水灰比 0.5 取代量 10%時其重量損失分別為 4.59%、5.35%及 5.83%，顯示當不銹鋼還原矽環保水泥細度較高時其重量損失率較大(8.2%~14.2%)。

當不銹鋼還原矽環保水泥水灰比為 0.4、0.5、0.6，不銹鋼還原矽環保水泥細度 3000cm²/g，取代量為 10%時，其重量損失分別為 3.35%、4.59%及 5.82%，顯示當不銹鋼還原矽環保水泥水灰比較高時其重量損失率較大(21%~27%)。其原因為當水灰比越高時，試體內部孔隙越多，硫酸鹽侵蝕越嚴重。

當不銹鋼還原矽環保水泥取代量為 10%、20%、30%，水灰比為 0.5，不銹鋼還原矽環保水泥細度 3000cm²/g 時其重量損失分別為(4.59%、4.62%及 4.79%)，顯示當不銹鋼還原矽環保水泥取代量在 10%~30%時，取代量越高時其重量損失率越高，然而取代量 40%~50%時，其重量損失分別為 4.68%及 4.37%，顯示當不銹鋼還原矽環保水泥取代量在 40%~50%時重量損失率有降低的現象，其主要原因為不銹鋼還原矽環保水泥在高取代量時，所造成試體膨脹孔隙較大，使硫酸鹽溶液的結晶殘留在烘乾的試體內，造成重量損失率降低。

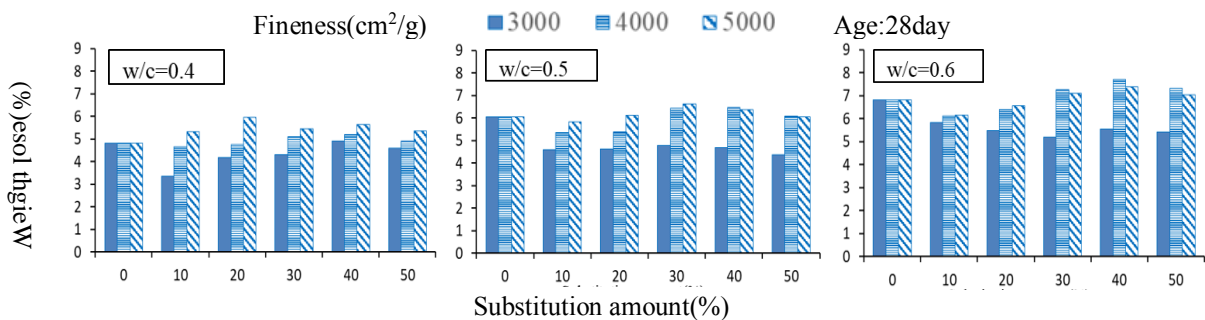


圖 3 不銹鋼還原矽環保水泥砂漿不同細度、取代量及水灰比天重量損失率。
Figure 3 Stainless steel reduction, environmental protection cement mortar with different fineness, substitution amount and water-cement ratio 28 days weight loss rate.

3.4 熱壓膨脹

圖 4 所示添加不銹鋼還原渣環保水泥之複合型水泥砂漿之膨脹量會隨著不銹鋼還原渣環保水泥取代量之增加而上升，因不銹鋼還原渣環保水泥裡含有游離氧化鈣(f-CaO)，在與水反應後會有膨脹之疑慮，當 56 天齡期，水灰比 0.4 及 0.5 時，不銹鋼還原渣環保水泥取代量 20%時之配比符合 CNS13619 規範值在 0.06%以下。

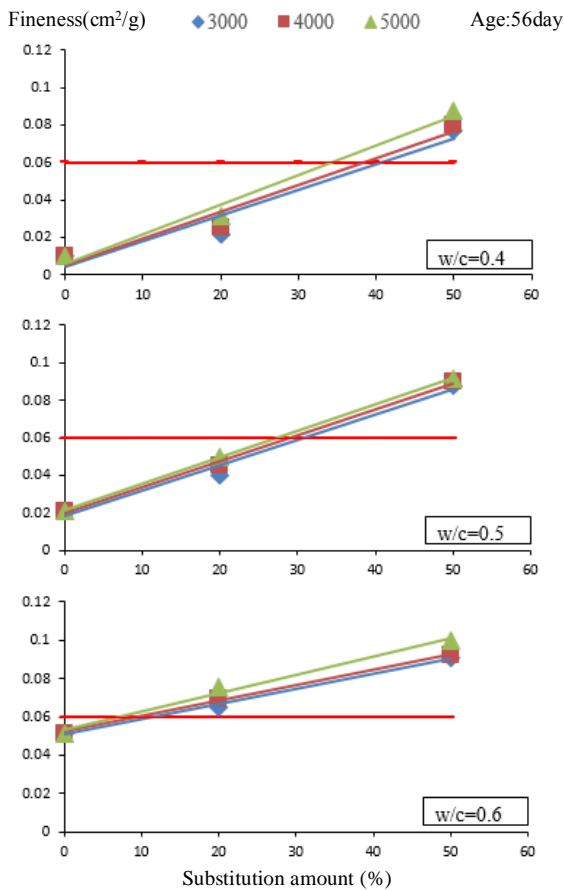


圖 4 不銹鋼還原渣環保水泥砂漿不同細度、取代量及水灰比熱壓膨脹量。

Figure 4 Stainless steel reduction, environmental protection cement mortar with different fineness, substitution amount and water-cement ratio of 56 days.

4. 結論

1. 當不銹鋼還原渣環保水泥取代量較多，使得水泥砂漿在拌合中增加粒料間的潤滑度，進而提高工作性，顯示不銹鋼還原渣環保水泥

可增加工作性。

2. 不同細度不銹鋼還原渣環保水泥對於抗壓強度變化較不明顯；同一細度不同取代量時對抗壓強度影響較明顯。
3. 當不銹鋼還原渣環保水泥水灰比、細度及取代量的增加，因試體內部孔隙越多，硫酸鹽侵蝕抵抗力低，對重量損失率則較大。
4. 當 56 天齡期，水灰比 0.4 及 0.5，不銹鋼還原渣環保水泥取代量 20%時之配比符合 CNS13619 規範值在 0.06%以下。

參考文獻

- [1] “Properties of Green Concrete Containing Stainless Steel Oxidizing Slag Resource Materials”, Yeong-Nain Sheen, Her-Yung Wang, and Te-Ho Sun, *Construction and Building Materials*, 50 (2014) pp. 22-27.
- [2] “A Study of Engineering Properties of Cement Mortar with Stainless Steel Oxidizing Slag and Reducing Slag Resource Materials”, Yeong-Nain Sheen, Her-Yung Wang, and Te-Ho Sun, *Construction and Building Materials*, 40 (2013) pp. 239-245.
- [3] “Greener Self-compacting Concrete Using Stainless Steel Reducing Slag”, Yeong-Nain Sheen, Duc-Hien Le, and Te-Ho Sun, *Construction and Building Materials*, 82 (2015) pp. 341-350.
- [4] 柯明賢，「煉鋼爐石應用於綠色建材資源化之研究」，綠色技術與工程實務研討會，經濟部工業局財團法人台灣產業服務基金會，台北，2017.11.21，第25-30頁。
- [5] 陳建任、蔡佳苈、王家蓁、洪鼎倫、林偉凱，「鋼鐵年鑑」，財團法人金屬工業研究發展

- 中心產業報告，2016。
- [6] 黃兆龍，in：“高性能混凝土理論與實務”，詹氏書局（台北，2016）。
- [7] 行政院公共工程委員會，公共工程高爐石混凝土使用手冊，取自 <https://www.pcc.gov.tw/DL.aspx?sitessn=297&nodeid=5118&u=LzAwMS9VcGxvYWQvMjk3L3JlbGZpbGUvMC81MTIwL2I2OTk5MGMxLWEyMTMtNDMxMy1hOGFILWU4YTcwM2YwMzRiMy5wZGY%3d&n=5YWs5YWx5bel56iL6auY54iQ55%2bz5re35Yed5Zyf5L2%2f55So5omL5YaKLnBkZg%3d%3d&icon=.pdf>。
- [8] “An Overview for the Utilization of Wastes from Stainless Steel Industries”, Huaiwei, Zhang and Xin, Hong, Resources, Conservation and Recycling, 55 (8) pp. 745-754.